

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-159845

(43)Date of publication of application : 20.06.1997

(51)Int.Cl. G02B 6/02  
G02B 6/20

(21)Application number : 07-317911 (71)Applicant : MIYAGI MITSUNOBU  
HITACHI CABLE LTD

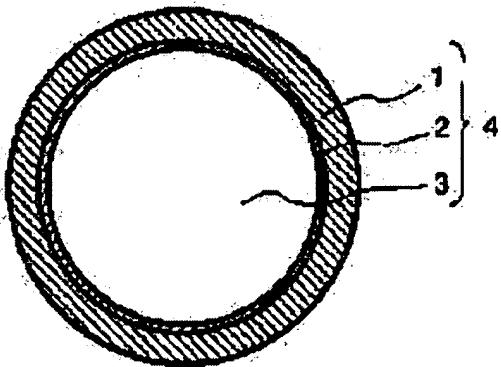
(22)Date of filing : 06.12.1995 (72)Inventor : MIYAGI MITSUNOBU  
HONGO AKISHI

## (54) HOLLOW WAVEGUIDE AND ITS PRODUCTION AS WELL AS LIGHT TRANSMISSION METHOD

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To lower loss, to enhance mass productivity and to facilitate the increase of a length and the reduction of a diameter by a dielectric layer of a silicate material consisting essentially of silicon oxide or silicon nitride.

**SOLUTION:** The dielectric substance-contg. metallic hollow waveguide 4 is formed of a metallic waveguide 1, the dielectric layer 2 which is formed on the inside wall of the metallic waveguide 1 and consists of the silicate or siloxane material and a hollow region 3 which is segmented by the inside wall of the dielectric layer 2. In such a case, the absorption peaks intrinsic to the material in an IR wavelength band exist in the silicate or siloxane material used as the dielectric layer 2. These absorption peaks exist discretely with respect to the wavelengths and the signal transmission wavelengths of the laser important for practicable use may be averted. The coefft. of the absorption of the material is large even exclusive of the wavelength bands excluding the wavelength band having the absorption peaks intrinsic to the material when compared with inorg. materials, such as germanium. However, the most of the laser energy transmitted in the hollow waveguide is concentrated to the hollow region having no loss and is merely absorbed



in the dielectric layer 2.

---

#### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.01.2000  
[Date of sending the examiner's decision of rejection] 24.06.2003  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number] 3488770  
[Date of registration] 31.10.2003  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-14284  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 24.07.2003  
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPPI are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

**CLAIMS**

[Claim(s)]

[Claim 1] Hollow waveguide characterized by being the silicate ingredient with which said dielectric layer uses silicon oxide or silicon nitride as a principal component in the hollow waveguide which carried out the inner package of the transparent dielectric layer by the wavelength range of the light transmitted to the wall of metal waveguide in the air.

[Claim 2] Hollow waveguide characterized by said dielectric layer being a siloxane ingredient in the hollow waveguide which carried out the inner package of the transparent dielectric layer by the wavelength range of the light transmitted to the wall of metal waveguide in the air.

[Claim 3] Hollow waveguide according to claim 2 characterized by said siloxane ingredient being an organic polysiloxane.

[Claim 4] Hollow waveguide according to claim 1 or 2 characterized by the metal waveguide of said hollow preparing the metal thin film of a different ingredient from this metallic pipe in the internal surface of a metallic pipe or a metallic pipe.

[Claim 5] Said metallic pipe is hollow waveguide according to claim 4 characterized by being either a phosphor bronze pipe or a stainless steel pipe.

[Claim 6] Hollow waveguide according to claim 1 or 2 characterized by for the metal waveguide of said hollow preparing at least one kind of metal thin film in the wall of a nonmetal golden pipe, and forming it in it.

[Claim 7] Said nonmetal pipe is hollow waveguide according to claim 6 characterized by being either a fluororesin or quartz glass.

[Claim 8] The metal membrane formed in the wall of said metallic pipe or a nonmetal pipe is hollow waveguide according to claim 4 or 6 characterized by being either gold, silver, copper, molybdenum or nickel.

[Claim 9] The optical transmission approach characterized by superimposing or changing and making the light and infrared light with a wavelength of 2 micrometers or more transmit while making the gas which consists of inert gas or carbon dioxide gas, such as air, nitrogen gas, and gaseous helium, flow into the hollow field of hollow waveguide according to claim 1 to 8.

[Claim 10] The manufacture approach of the hollow waveguide characterized by to form the dielectric layer which becomes the wall of said metal waveguide from a silicate ingredient by drying and solidifying this paint film with heating after forming the paint film of said precursor solution in the metal waveguide wall of said hollow by discharging after supplying the precursor solution which added the silicon compound, the glassiness formation agent, and the organic binder to the organic solvent, and dissolved in it to the hollow field of metal waveguide in the air.

[Claim 11] Make the polycondensation reaction according the alkoxide of silicon, or this and other metal alkoxides to hydrolysis perform in the solvent of arbitration, and a colloidal particle is made to generate. After forming the paint film of said precursor solution in the metal waveguide wall of said hollow by discharging after supplying the precursor solution containing this colloidal particle to the hollow field of metal waveguide in the air, The manufacture approach of the hollow waveguide characterized by

forming the dielectric layer which dries and solidifies this paint film with heating, and becomes the wall of said metal waveguide from a silicate ingredient.

[Claim 12] The manufacture approach of the hollow waveguide characterized by forming the dielectric layer which dries and solidifies this paint film with heating, and becomes the wall of said metal waveguide from a silicate ingredient after forming the paint film of said precursor solution in the metal waveguide wall of said hollow by discharging after supplying the precursor solution which made the solvent of arbitration distribute silicon oxide impalpable powder or silicon nitride impalpable powder to the hollow field of metal waveguide in the air.

[Claim 13] The manufacture approach of the hollow waveguide characterized by forming the dielectric layer which dries and solidifies this paint film with heating, and becomes the wall of said metal waveguide from a silicate ingredient after forming the paint film of said precursor solution in the metal waveguide wall of said hollow by discharging after supplying the precursor solution which carried out acid treatment of the water glass, and was made into the colloidal particle to the hollow field of metal waveguide in the air.

[Claim 14] The manufacture approach of the hollow waveguide characterized by forming the dielectric layer which dries and solidifies this paint film with heating, and becomes the wall of said metal waveguide from a siloxane ingredient after forming the paint film of said precursor solution in the metal waveguide wall of said hollow by discharging after supplying the precursor solution of an organic polysiloxane to the hollow field of metal waveguide in the air.

[Claim 15] The manufacture approach of the hollow waveguide according to claim 10 to 14 characterized by supplying the dry gas which consists of air or inert gas to the hollow field of the metal waveguide of said hollow in case the paint film of said precursor solution is dried and solidified with heating.

[Claim 16] After forming the paint film of said precursor solution in the metal waveguide wall of said hollow by discharging after supplying the precursor solution of the polysilazane diluted with the organic solvent to the hollow field of metal waveguide in the air, Said paint film is dried with heating, supplying air, nitrogen gas, or oxygen gas to the hollow field of the metal waveguide of said hollow. The manufacture approach of the hollow waveguide characterized by forming the dielectric layer which consists of a silicate ingredient which it solidified [ ingredient ] and made the wall of said metal waveguide oxidize or nitride said POSHIRAZAN.

[Claim 17] The manufacture approach of the hollow waveguide according to claim 10 to 16 characterized by discharging said precursor solution with a vacuum pump from the other end of said metal waveguide, and forming the paint film of said precursor solution after supplying said precursor solution with a pump and being filled up with it from the end of said metal waveguide.

[Claim 18] The manufacture approach of the hollow waveguide according to claim 10 to 17 characterized by forming the dielectric layer of desired thickness by repeating a series of processes until it results [ from formation of the paint film of said precursor solution ] in desiccation by heating, and solidification.

[Claim 19] The manufacture approach of the hollow waveguide according to claim 10 to 18 characterized by consisting of a metallic pipe by which said metal waveguide prepared the metal thin film which consists of a metallic pipe or another metallic material in the internal surface, or a pipe which carried out the inner package of the metal thin film to the inner surface of a nonmetal pipe.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

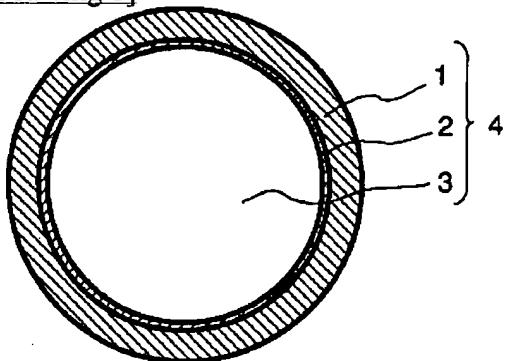
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DRAWINGS**

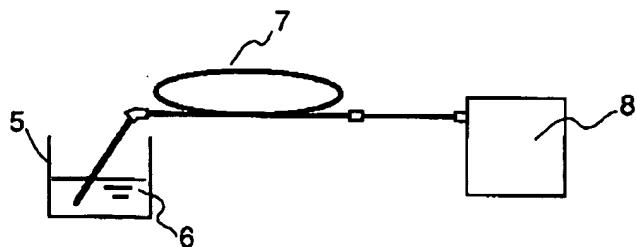
---

[Drawing 1]

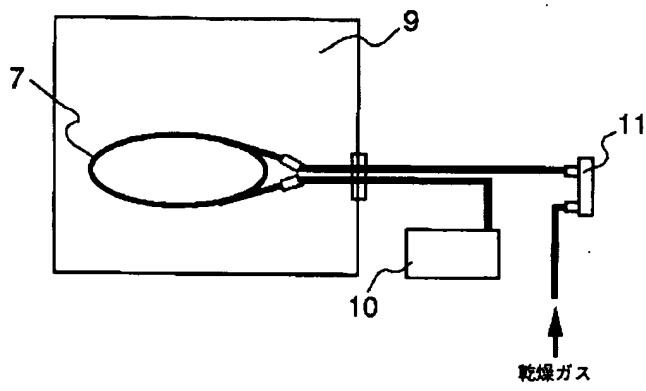


1 金属パイプ  
2 ケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体層  
3 中空領域

[Drawing 2]

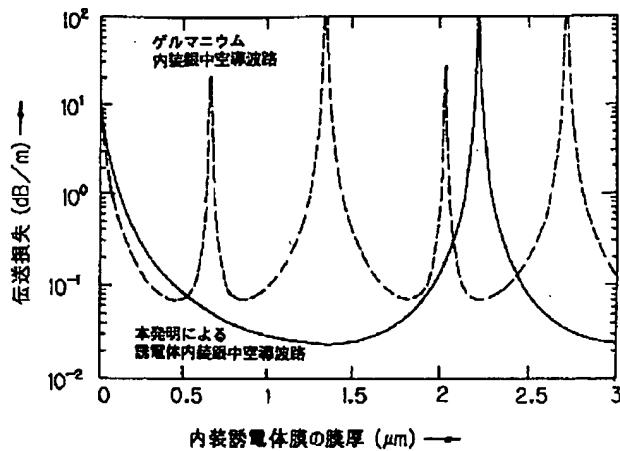


(a)

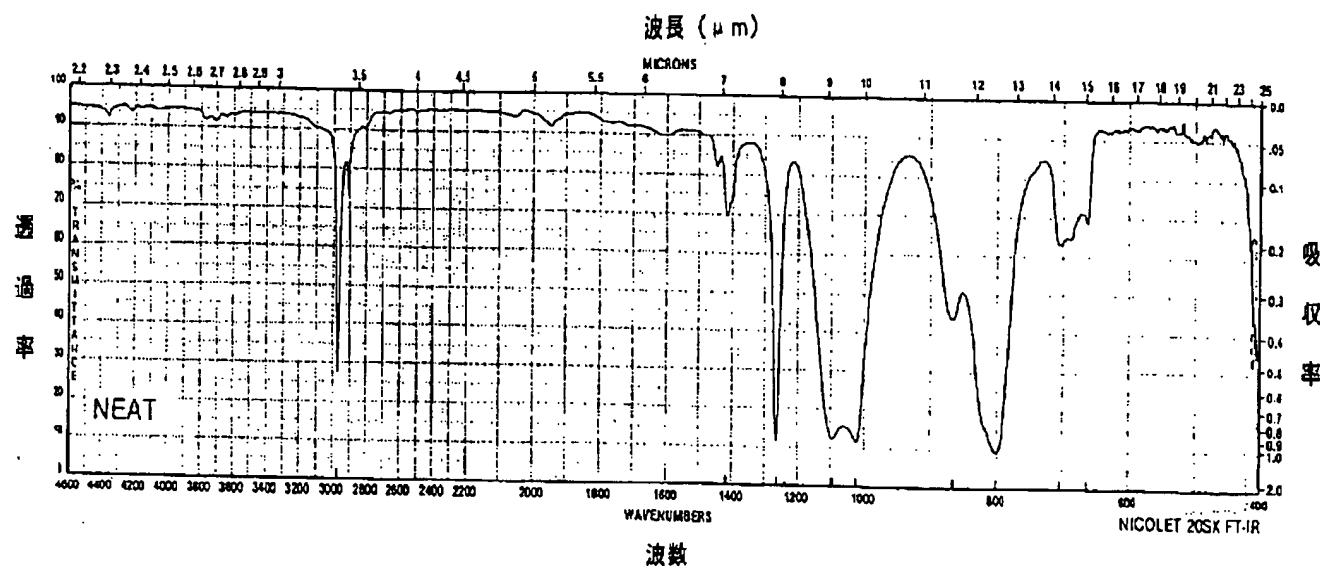


(b)

[Drawing 3]



[Drawing 4]



---

[Translation done.]

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09159845 A**

(43) Date of publication of application: **20.06.97**

(51) Int. Cl

**G02B 6/02  
G02B 6/20**

(21) Application number: **07317911**

(22) Date of filing: **06.12.95**

(71) Applicant: **MIYAGI MITSUNOBU HITACHI  
CABLE LTD**

(72) Inventor: **MIYAGI MITSUNOBU  
HONGO AKISHI**

(54) **HOLLOW WAVEGUIDE AND ITS PRODUCTION  
AS WELL AS LIGHT TRANSMISSION METHOD**

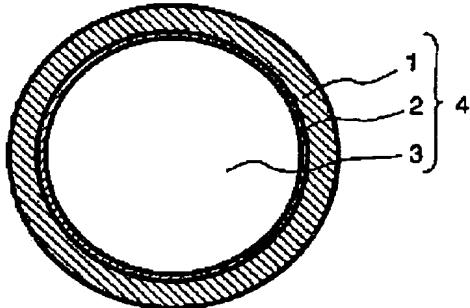
of the laser energy transmitted in the hollow waveguide is concentrated to the hollow region having no loss and is merely absorbed in the dielectric layer 2.

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To lower loss, to enhance mass productivity and to facilitate the increase of a length and the reduction of a diameter by a dielectric layer of a silicate material consisting essentially of silicon oxide or silicon nitride.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

**SOLUTION:** The dielectric substance-contg. metallic hollow waveguide 4 is formed of a metallic waveguide 1, the dielectric layer 2 which is formed on the inside wall of the metallic waveguide 1 and consists of the silicate or siloxane material and a hollow region 3 which is segmented by the inside wall of the dielectric layer 2. In such a case, the absorption peaks intrinsic to the material in an IR wavelength band exist in the silicate or siloxane material used as the dielectric layer 2. These absorption peaks exist discretely with respect to the wavelengths and the signal transmission wavelengths of the laser important for practicable use may be averted. The coefft. of the absorption of the material is large even exclusive of the wavelength bands excluding the wavelength band having the absorption peaks intrinsic to the material when compared with inorg. materials, such as germanium. However, the most



(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-159845

(43)公開日 平成9年(1997)6月20日

(51) Int.CI.<sup>6</sup>  
G02B 6/02  
6/20

識別記号 庁内整理番号  
F I  
G02B 6/02  
6/20

技術表示箇所  
C  
Z

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全9頁)

(21)出願番号 特願平7-317911

(22)出願日 平成7年(1995)12月6日

(71)出願人 593138584

宮城 光信

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉無番地 東  
北大学工学部内

(71)出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目1番2号

(72)発明者 宮城 光信

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉無番地 東  
北大学工学部内

(72)発明者 本郷 晃史

茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線  
株式会社アドバンスリサーチセンタ内

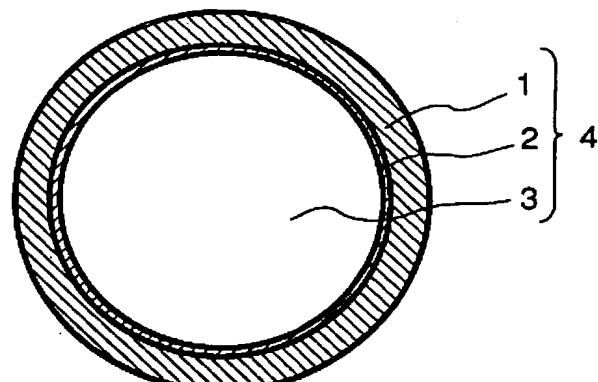
(74)代理人 弁理士 松本 孝

(54)【発明の名称】中空導波路およびその製造方法並びに光伝送方法

(57)【要約】

【課題】石英系光ファイバが使用できない光の波長帯に  
おいて、低損失であり、量産性に優れ、長尺あるいは細  
径化が容易で、しかも長期的信頼性の優れた中空導波路  
を提供する。

【解決手段】中空の金属導波路1の内壁に、伝送する光  
の波長帯で透明な誘電体層2を内装した中空導波路にお  
いて、誘電体層2が酸化ケイ素または窒化ケイ素を主成  
分とするケイ酸塩材料またはシロキサン材料である。



1 金属パイプ

2 ケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体層

3 中空領域

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】中空の金属導波路の内壁に、伝送する光の波長帯で透明な誘電体層を内装した中空導波路において、前記誘電体層が酸化ケイ素または窒化ケイ素を主成分とするケイ酸塩材料であることを特徴とする中空導波路。

【請求項 2】中空の金属導波路の内壁に、伝送する光の波長帯で透明な誘電体層を内装した中空導波路において、前記誘電体層がシリコキサン材料であることを特徴とする中空導波路。

【請求項 3】前記シリコキサン材料が有機ポリシリコキサンであることを特徴とする請求項 2 に記載の中空導波路。

【請求項 4】前記中空の金属導波路が、金属パイプまたは金属パイプの内壁面に該金属パイプとは異なる材料の金属薄膜を設けたものであることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の中空導波路。

【請求項 5】前記金属パイプはリン青銅パイプまたはステンレスパイプのいずれかであることを特徴とする請求項 4 に記載の中空導波路。

【請求項 6】前記中空の金属導波路が、非金属パイプの内壁に少なくとも一種類の金属薄膜を設けて形成されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の中空導波路。

【請求項 7】前記非金属パイプはフッ素樹脂または石英ガラスのいずれかであることを特徴とする請求項 6 に記載の中空導波路。

【請求項 8】前記金属パイプまたは非金属パイプの内壁に形成される金属膜は金、銀、銅、モリブデン若しくはニッケルのいずれかであることを特徴とする請求項 4 または請求項 6 に記載の中空導波路。

【請求項 9】請求項 1 乃至請求項 8 に記載の中空導波路の中空領域に空気、窒素ガス、ヘリウムガス等の不活性ガスまたは炭酸ガスからなる気体を流入させながら、可視光および波長 2 μm 以上の赤外光とを重複または切り替えて伝送させることを特徴とする光伝送方法。

【請求項 10】有機溶媒にケイ素化合物、ガラス質形成剤及び有機バインダーを加えて溶解した前駆体溶液を中空の金属導波路の中空領域に供給した後に排出することにより前記中空の金属導波路内壁に前記前駆体溶液の塗膜を形成した後、該塗膜を加熱により乾燥、固化することによって前記金属導波路の内壁にケイ酸塩材料からなる誘電体層を形成することを特徴とする中空導波路の製造方法。

【請求項 11】ケイ素のアルコキシド、あるいはこれとの金属アルコキシドとを任意の溶媒中で加水分解による重結合反応を行わせてコロイド粒子を生成せしめ、このコロイド粒子を含む前駆体溶液を中空の金属導波路の中空領域に供給した後に排出することにより前記中空の金属導波路内壁に前記前駆体溶液の塗膜を形成した後、該塗膜を加熱により乾燥、固化して前記金属導波路の内

壁にケイ酸塩材料からなる誘電体層を形成することを特徴とする中空導波路の製造方法。

【請求項 12】酸化ケイ素微粉末または窒化ケイ素微粉末を任意の溶媒に分散させた前駆体溶液を中空の金属導波路の中空領域に供給した後に排出することにより前記中空の金属導波路内壁に前記前駆体溶液の塗膜を形成した後、該塗膜を加熱により乾燥、固化して前記金属導波路の内壁にケイ酸塩材料からなる誘電体層を形成することを特徴とする中空導波路の製造方法。

10 【請求項 13】水ガラスを酸処理してコロイド粒子にした前駆体溶液を中空の金属導波路の中空領域に供給した後に排出することにより前記中空の金属導波路内壁に前記前駆体溶液の塗膜を形成した後、該塗膜を加熱により乾燥、固化して前記金属導波路の内壁にケイ酸塩材料からなる誘電体層を形成することを特徴とする中空導波路の製造方法。

【請求項 14】有機ポリシリコキサンの前駆体溶液を中空の金属導波路の中空領域に供給した後に排出することにより前記中空の金属導波路内壁に前記前駆体溶液の塗膜を形成した後、該塗膜を加熱により乾燥、固化して前記金属導波路の内壁にシリコキサン材料からなる誘電体層を形成することを特徴とする中空導波路の製造方法。

【請求項 15】前記前駆体溶液の塗膜を加熱により乾燥、固化する際、前記中空の金属導波路の中空領域に空気または不活性ガスからなる乾燥ガスを供給することを特徴とする請求項 10 乃至請求項 14 のいずれかに記載の中空導波路の製造方法。

【請求項 16】有機溶媒で希釈したポリシラザンの前駆体溶液を中空の金属導波路の中空領域に供給した後に排出することにより前記中空の金属導波路内壁に前記前駆体溶液の塗膜を形成した後、前記中空の金属導波路の中空領域に空気、窒素ガスまたは酸素ガスを供給しながら前記塗膜を加熱により乾燥、固化して前記金属導波路の内壁に前記ポリシラザンを酸化もしくは窒化させたケイ酸塩材料からなる誘電体層を形成することを特徴とする中空導波路の製造方法。

【請求項 17】前記前駆体溶液を前記金属導波路の一端からポンプにより供給して充填した後、前記金属導波路の他端から前記前駆体溶液を真空ポンプで排出して前記前駆体溶液の塗膜を形成することを特徴とする請求項 10 乃至請求項 16 のいずれかに記載の中空導波路の製造方法。

【請求項 18】前記前駆体溶液の塗膜の形成から加熱による乾燥、固化に至るまでの一連の工程を繰り返すことにより所望の膜厚の誘電体層を形成することを特徴とする請求項 10 乃至請求項 17 のいずれかに記載の中空導波路の製造方法。

【請求項 19】前記金属導波路が、金属パイプまたは別の金属材料からなる金属薄膜を内壁面に設けた金属パイプ、もしくは非金属パイプの内面に金属薄膜を内装した

パイプからなることを特徴とする請求項10乃至請求項18のいずれかに記載の中空導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、可視領域ばかりでなく、石英系光ファイバでは伝送できない赤外波長帯や紫外波長帯など、広範囲の波長帯における光を伝送可能な中空導波路及びその製造方法並びに光伝送方法に関するものであり、かかる本発明の中空導波路は医療、工業加工、計測、分析、化学等の分野で有用である各種レーザ光の伝送に好適な可撓性を有する中空導波路である。

【0002】

【従来の技術】波長 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上の赤外光は、医療、工業加工、計測、分析、化学等様々な分野で利用されている。特に、波長 $2.94\text{ }\mu\text{m}$ 帯のEr-YAGレーザ、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 帯のCO<sub>2</sub>レーザ、 $10.6\text{ }\mu\text{m}$ 帯のCO<sub>2</sub>レーザは、発振効率が高く高出力が得られ、また水に対しても大きな吸収をもつため、医療用の治療機器や工業加工用などの光源として極めて重要である。

【0003】ところで、従来の通信用に使用されている石英系光ファイバは、波長 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上では分子振動による赤外吸収が大きくなり極めて高損失となる。このためこれらのレーザ光を伝送する導波路として石英系の光ファイバを使用することができない。

【0004】そこで応用範囲の広い赤外波長帯で用いる新しいタイプの光導波路の開発が活発となっている。現在、研究開発がなされている波長 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上の赤外光用の導波路は、充実タイプのいわゆる赤外ファイバと中空導波路に大別できる。

【0005】赤外ファイバの材料を分類すると、重金属酸化物ガラス(GeO<sub>2</sub>、GeO<sub>2</sub>-Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等)、カルコゲナイトガラス(As-S、As-Se等)、そしてハロゲン化物に分けられる。ハロゲン化物は、さらにハライドガラス(ZnCl<sub>2</sub>、CdF<sub>6</sub>-BaF<sub>2</sub>-ZrF<sub>4</sub>等)、結晶性金属ハロゲン化物(KRS-5、AgCl、AgBr、KC1等)に分けられる。

【0006】中空導波路も構造、材料、形状の観点から種々の導波路が提案、試作されている。その中で特に金属パイプ内部に高反射コーティングを施した誘電体内装金属中空導波路は、大電力伝送のレーザ加工に適用することを目的として提案されたものであり、ゲルマニウムや硫化亜鉛等の誘電体となる無機材料の薄膜をニッケル等の金属パイプの内壁に形成した導波路が開発されている。この導波路は、まずエッチング可能なアルミニウム等の母材となるパイプの外周にゲルマニウムや硫化亜鉛等の薄膜をスパッタリング法により形成し、さらにその外周に電気めっき法によって厚肉のニッケル層を形成し、最後に母材パイプを化学的にエッチング除去することにより製造される。また、ゲルマニウムや硫化亜鉛薄膜と機械的強度を保つための厚肉ニッケル層との間に銀

薄膜を介在させて、さらなる低損失な導波路を得ることもできる。これまでに伝送損失 $0.05\text{ dB/m}$ 、伝送容量 $3\text{ kW}$ を達成し、金属板の切断および溶接に十分なエネルギーを伝送できることが確認されている。このような中空導波路は、充実タイプの赤外ガラスファイバと比較して、入出力端での反射が少なく、また冷却効率が高いので、特に大電力伝送に有利である。

【0007】一方、紫外領域においても、エキシマレーザ等レーザ化学の分野で重要な光源が存在する。しかし充実タイプの光ファイバでは、レイリー散乱により短波長ほど損失が急増し伝送路として使用することが本質的にできない。そのため従来このような紫外領域における導波路の研究開発はほとんどなされていない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、赤外波長帯で用いる充実タイプの光ファイバは、一般に屈折率が高く光入力端での反射損が大きいため大電力伝送には不利である。特に上述した従来のガラス質の光ファイバは、一般に融点や軟化点が低いため、わずかな損失でも光ファイバ端面に損傷が生じやすい。また透過域もほとんどが波長 $6\sim 7\text{ }\mu\text{m}$ 以下でCO<sub>2</sub>レーザ光を伝送することは困難である。結晶性の赤外ファイバは、透過域がCO<sub>2</sub>レーザの波長帯 $10.6\text{ }\mu\text{m}$ まで達するものもあるが、繰り返し曲げにより塑性変形が生じたり、また潮解性が大きいなど長期信頼性に問題がある。

【0009】一方、これまでに提案されている無機材料を内装した中空導波路は、製作工程が複雑で量産には限界があり、細径化や長尺化が困難である。前述した従来の誘電体内装金属中空導波路では、内装する薄膜はスパッタリング法により形成されるので、その導波路の長さは製造装置に依存し、実際に製造される導波路の長さは高々数mである。また導波路の内径は、最終工程でエッチング除去される母材パイプの外径になる。母材パイプは完全に除去されなければならず、そのため導波路の内径を極めて小さくすることはできない。現状の導波路の最小径は $1\text{ mm}$ 程度である。導波路径が大きいほど機械的に曲げにくく、また曲げ損失が増大するのに加え、多くの高次モードのレーザ光が伝搬するので、集光特性が劣化するという問題がある。

【0010】また、紫外波長帯においては、充実タイプの光ファイバでは短波長ほどレイリー散乱による損失が急激に増加する。そのため導波路の開発はほとんど行われていないのが現状であるが、レイリー散乱が無視できる中空構造の導波路が有望と考えられる。

【0011】そこで本発明は、上記課題を解決し、石英系光ファイバが使用できない光の波長帯において、低損失で量産性に優れ、長尺あるいは細径化が容易で、しかも長期的信頼性の優れた中空導波路およびその製造方法、並びに当該中空導波路を用いた光伝送方法を提供することにある。

## 【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するためには本発明の中空導波路は、金属中空導波路の内壁に、伝送する光の波長帯で透明かつ耐熱性、耐久性の優れた酸化ケイ素または窒化ケイ素を主成分とするケイ酸塩材料または有機ポリシロキサン等のシロキサン材料による誘電体膜を形成したことを特徴とする中空導波路である。

【0013】ここで、前記中空の金属導波路は、リン青銅パイプまたはステンレスパイプ等の金属パイプまたはこれとは別の金属材料からなる金属薄膜を内壁面に設けた金属パイプ、もしくはフッ素樹脂または石英ガラス等の非金属パイプの内壁に少なくとも一種類の金属薄膜を設けて形成されているものが好適である。

【0014】なお、前記金属パイプまたは非金属パイプの内壁に形成される金属膜は金、銀、銅、モリブデン若しくはニッケルのいずれかであることが好ましい。

【0015】また、本発明の光伝送方法は、上記した中空導波路の中空領域に、可視光および波長 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上の赤外光とを重畳または切り替えて伝送させ、さらに空気、窒素ガス、ヘリウムガス等の不活性ガスまたは炭酸ガスからなる気体を前記中空導波路内部に流入させることを特徴とする光伝送方法である。

【0016】また、本発明の中空導波路の製造方法は、中空の金属導波路の内部に溶媒で溶解したケイ酸塩材料またはシロキサン材料の前駆体溶液を供給し、これを排出することにより前駆体溶液の塗膜を形成した後、該塗膜を加熱により乾燥、固化させて内壁にケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体層を形成することを特徴とする中空導波路の製造方法である。

【0017】ここで、加熱により乾燥、固化することによってケイ酸塩材料となる前駆体溶液としては、有機溶媒にケイ素化合物、ガラス質形成剤及び有機バインダーを加えて溶解した前駆体溶液、ケイ素のアルコキシドあるいはこれと他の金属アルコキシドとを任意の溶媒中で加水分解による重縮合反応を行わせてコロイド粒子を生成せしめた前駆体溶液、酸化ケイ素微粉末または窒化ケイ素微粉末を任意の溶媒に分散させた前駆体溶液、水ガラスを酸処理してコロイド粒子にした前駆体溶液、有機溶媒で希釈したポリシラザンの前駆体溶液を用いることができ、またシロキサン材料となる前駆体溶液としては、有機ポリシロキサンの前駆体溶液を用いることができる。

【0018】なお、ポリシラザンの前駆体溶液を用いる場合には、中空の金属導波路の中空領域に空気、窒素ガスまたは酸素ガスを供給してポリシラザンを酸化もしくは窒化させながら加熱により乾燥、固化させるようにし、ポリシラザン以外の上記した前駆体溶液を用いる場合には、中空の金属導波路の中空領域に空気または不活性ガスからなる乾燥ガスを供給しながら加熱により乾

燥、固化することが好ましい。

【0019】また、中空の金属導波路内壁に前駆体溶液の塗膜を形成する際、前駆体溶液を金属導波路の一端からポンプにより供給して充填した後、金属導波路の他端から前記前駆体溶液を真空ポンプで排出して前記前駆体溶液の塗膜を形成することが好ましい。

【0020】また、前駆体溶液の粘度、固形分含有量及び塗布速度を調整することはもちろん、前駆体溶液の充填、排出からなる塗膜形成の工程から加熱による乾燥・

10 固化工程に至るまでの一連の工程を繰り返すことにより、所望の膜厚の誘電体層を形成することができる。

【0021】このように、本発明の中空導波路によれば、ケイ酸塩材料またはシロキサン材料を誘電体として内装しているので、導波路内に伝送される光のほとんどが中空領域を伝搬し、光が導波路内を伝搬する際にケイ酸塩またはシロキサン材料による誘電体層で吸収される光エネルギーの量はわずかであるため低損失で光伝送を行うことができ、しかも高い耐熱性を有するため大電力のレーザ光伝送に適している。

20 【0022】そして、このような本発明の中空導波路であれば、空気、窒素ガス、ヘリウムガス等の不活性ガスまたは炭酸ガスからなる気体を前記中空導波路内部に流入させながら、波長 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上の赤外レーザ光に照射位置を目視により確認するための可視光を重畳または切り替えた光伝送が可能となる。

【0023】また、本発明の中空導波路の製造方法によれば、中空の金属導波路の内部に溶媒で溶解したケイ酸塩またはシロキサン材料の前駆体溶液を供給・充填し、これを排出した後、加熱により乾燥、固化させることで

30 金属導波路の内壁にケイ酸塩またはシロキサン材料による誘電体層が形成され、この誘電体層の厚さは、充填、排出および乾燥の工程の回数、溶液粘度、固形分含有量、塗布速度の製造条件によって任意にしかも精度よく制御することができる。さらにこの製造方法は、可撓性の優れた細径な導波路の製造にも適用でき、しかも形成される導波路の長さは製造装置に依存せず長尺化も容易である。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を添付

40 図面に基づいて詳述する。図1は本発明の中空導波路の一実施形態を示す断面図である。同図に示すように、金属導波路1と、この金属導波路1の内壁に設けられたケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体層2と、この誘電体層2の内壁によって区画される中空領域3とで誘電体内装金属中空導波路4が形成されている。

【0025】中空導波路4内に入射される光（レーザ光）は、中空領域3と誘電体層2との境界および誘電体層2と金属導波路1との境界で反射を繰り返し伝搬する。ここで、金属導波路1は光学的に伝送特性に関与するだけではなく、中空導波路4の機械的強度を保つ働きも

50

している。したがって、低損失化のためには誘電体層2に接する金属として、例えば銀や金のように複素屈折率の絶対値が大きい金属が有効であるが、金属導波路1として銀や金などのパイプを用いることは、経済的、機械的特性を考慮すると実用的ではない。

【0026】一般に、中空導波路4内を伝送するレーザ光に対し、金属材料は光の吸収が大きいため、レーザエネルギーは金属導波路1内に深く入り込むことはなく、誘電体層2に接する金属層はその厚さがスキンデプス以上あれば十分である。したがって、金属導波路1として、安価で機械的特性の優れた厚肉の金属パイプの内壁に、別の金属材料からなる複素屈折率の絶対値が大きい金属薄膜をスキンデプス以上の厚さで形成した金属パイプを用いても良い。この場合、機械的強度を保つ厚肉の金属パイプとしては、機械的曲げ特性の優れたリン青銅パイプや、化学的に安定で内壁表面粗さの小さいパイプが安価に入手できるステンレスパイプが特に好適である。またこれらのパイプ内壁に形成される別の金属材料からなる金属薄膜には、複素屈折率の絶対値が特に大きい金、銀、銅あるいは硬質で傷のつきにくいモリブデンが特に好適である。本発明の中空導波路はこのような複数の金属層からなる金属パイプに対しても有効である。

【0027】また、上記したように誘電体層2に接する金属層は、その厚さがスキンデプス以上あれば十分であるため、金属導波路1としては、上述の金属パイプあるいは金属薄膜内装金属パイプの代わりに、金属薄膜を内装した非金属パイプを用いてもよい。この場合非金属パイプとしては、フッ素樹脂パイプや石英ガラスパイプが特に好適である。フッ素樹脂パイプは可撓性や耐薬品性に優れており、石英ガラスパイプは耐薬品性に優れているだけでなく、内壁の表面粗さが極めて小さいので伝送損失低減に有効である。ガラスパイプの機械的強度は、ガラスパイプ外面に樹脂を塗布することにより飛躍的に向上させることができる。これらの非金属パイプに内装する金属薄膜は、前述した金属パイプの場合と同様に、複素屈折率の絶対値が特に大きい金、銀、銅あるいは硬質で傷のつきにくいモリブデンが特に好適である。光学的にはこれらの金属薄膜が1層で十分であるが、金属層の付着力を高めるため非金属パイプとこれら金属薄膜との間に例えばニッケル層等の金属膜を介在させることは有効である。この場合、非金属パイプ内部に無電解のニッケルめっき液を流入して排出することにより付着力の低下を招く虞があるため、 $50 \mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。

【0028】なお、金属パイプあるいは非金属パイプ内壁に内装される金属膜の厚さは、上述した通り、スキンデプス以上あれば十分であるが、あまり厚すぎると金属薄膜の内部応力および線膨張係数の違いにより付着力の低下を招く虞があるため、 $50 \mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。

【0029】次に、誘電体層として用いられるケイ酸塩

またはシロキサン材料について説明する。これらの材料には、低屈折率で紫外領域から赤外領域までの幅広い領域で透明なものが存在する。このようなケイ酸塩またはシロキサン材料には、赤外波長帯で材料固有の吸収ピークが存在するが、これは波長に対して離散的に存在し、例えばEr-YAGレーザ、CO<sub>2</sub>レーザなどの実用上重要なレーザの発振波長を避けることができる。赤外領域において、材料固有の吸収ピークを有する波長帯以外でもケイ酸塩またはシロキサン材料の吸収係数はゲルマニウムや硫化亜鉛などの無機材料と比較すれば大きい。しかし、充実タイプの光ファイバと異なり、中空導波路は伝送されるレーザエネルギーのほとんどが、損失の無い中空領域3に集中し、わずかに誘電体層2に吸収されるだけなので、導波路の伝送損失は極めて小さい。

【0030】また、誘電体内装金属中空導波路では、内装される誘電体層の屈折率が $2^{1/2}$ に近いほど伝送損失が小さくなることが理論的に開示されている(A. Hongo, K. Morosawa, T. Shiota, Y. Matsuura, and M. Miyagi, IEEE

20 J. Quantum Electron., vol. 26, 1510, 1990)。従来から誘電体として用いられていたゲルマニウムの屈折率は4、硫化亜鉛の屈折率は2.3であるのに対し、ケイ酸塩またはシロキサン材料の屈折率は1.45~1.7程度でより低損失導波路を実現することができる。さらに屈折率が低いということは、内装する誘電体層の膜厚許容範囲が広くなり製作上有利である。

【0031】さらにケイ酸塩またはシロキサン材料は高い耐熱温度、耐久性を有する。前述のようにケイ酸塩またはシロキサン材料による誘電体層中を伝搬するレーザエネルギーはわずかであるが、吸収されたレーザエネルギーは全て熱に変換されるので、特に本発明のような高いレーザエネルギーの伝送路においては、耐熱性、耐久性は重要である。ケイ酸塩またはシロキサン材料は、熱変形や熱分解を起こすこと無く、また有害物質発生の懸念が少ない。このようにケイ酸塩またはシロキサン材料は、本発明の目的とするレーザ光の伝送路として好適な材料である。

【0032】なお本実施の形態で説明した中空導波路では、CO<sub>2</sub>レーザ光などにHe-Neレーザなどの可視光を重畠または切り替えて伝送させることができある。これは目に見えないレーザ光を安全に目的物に照射するために極めて有効である。さらに同時に乾燥させた空気、窒素、不活性ガス(例えば、ヘリウムガス等)、炭酸ガスなどの気体を導波路内部に流入できるのは中空導波路の大きな特長である。これらの乾燥ガスは導波路内部への粉塵や水分の侵入を防止するだけでなく、導波路の冷却にも効果がある。さらに例えば医療用においては、レーザ光と同時に患部へ空気、窒素、炭酸ガスなどを噴射する必要があり、別経路で導入することなく導波路の中空構造を利用することができます。

【0033】次に、本発明の中空導波路の製造方法について説明する。ケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体層は、任意の有機溶媒に溶解されたケイ酸塩またはシロキサン材料の前駆体溶液を、金属導波路となるパイプの内部に供給した後に排出することにより塗膜を形成した後、この塗膜を加熱により乾燥、固化することによりパイプ内壁に直接成膜することができる。その膜厚は固形分含有量、粘度、塗布速度などの使用条件によって制御することができる。内装されるパイプは、コイル状にすることにより長尺化が容易である。

【0034】図2は本発明の中空導波路の製造方法を示す説明図であり、同図(a)は金属導波路内壁にケイ酸塩材料の前駆体溶液の塗膜を形成する工程を示す説明図、同図(b)は前駆体溶液の塗膜を乾燥・固化する工程を示す説明図である。

【0035】図2(a)に示すように、容器5内にケイ酸塩材料の前駆体溶液6(例えば東京応化製OCD)が収容されている。このケイ酸塩材料の前駆体溶液6は、ケイ素化合物にガラス質形成剤、有機バインダーを加え、さらにこれらをアルコール、エステル、ケトンなどからなる有機溶剤に溶解したものである。パイプ7は図1で説明した金属導波路1に相当し、前述のように金属パイプあるいは既に金属薄膜が内装されている非金属パイプ等が用いられる。本実施例では、内径700μm、外径800μmの石英キャビラリーの内壁に銀薄膜がコートされているものを用いた。ケイ酸塩材料の前駆体溶液6は送液ポンプ8によりパイプ7内部へ充填、排出されこの工程によって、パイプ7の内壁にケイ酸塩材料の前駆体溶液の塗膜が形成される。

【0036】次に図2(b)に示すように、ケイ酸塩材料の前駆体溶液の塗膜が形成されたパイプ7を200℃程度に調節されている電気炉9の中に入れ、前駆体溶液の塗膜の乾燥を行う。この際、乾燥が十分行われるようにパイプ7の内部には、真空ポンプ10とガス流量計11とによって空気や窒素ガス、あるいはヘリウムガスなどの不活性ガスからなる乾燥ガスを流す。

【0037】ケイ酸塩材料からなる膜が所望の膜厚になるまで、図2(a)と図2(b)とで示した工程を数回繰り返し、最後に450℃程度に再設定された電気炉9により約1時間加熱して完全乾燥させることにより、パイプ7内にケイ酸塩材料の薄膜を有する中空導波路が形成される。このケイ酸塩材料は多量の酸化ケイ素ガラス(SiO<sub>2</sub>)を含んでおり、耐熱性、耐久性が極めて高い。

【0038】以上の説明では、パイプ7に内装されるケイ酸塩材料として、ケイ素化合物にガラス質形成剤、有機バインダーを加え、さらにこれらを有機溶剤に溶解した前駆体溶液を用いた場合について説明した。ケイ酸塩材料の薄膜は、このような前駆体溶液を用いる以外にも、シリコンメトキシドやシリコンエトキシドなどのケ

イ素のアルコキシド、あるいはこれと他の金属アルコキシドをアルコールなどの適当な溶媒中で加水分解し、重縮合反応を行わせてコロイド粒子にした前駆体溶液を用い、これを高温加熱により乾燥、固化することによっても形成することができる。さらに四塩化ケイ素の火炎加水分解などで得られる非晶質の酸化ケイ素微粉を適当な溶媒に分散させることによって、あるいはK<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>などの水ガラスの酸処理によってコロイド粒子にした前駆体溶液を用い、これを高温加熱により乾燥、固化することによっても形成することができる。さらにパイプ7に内装されるケイ酸塩材料は、-Si-N-を主鎖とするポリシラザンをキシレンで希釈しこれをパイプ7に供給、排出して塗膜を形成した後、空気、窒素ガスまたは酸素ガスの雰囲気のもと高温加熱して形成することもできる。この場合窒素ガスと酸素ガスの混合の割合を調節することによって内装されるケイ酸塩材料の光学定数を変化させることができる。

【0039】また以上の説明では、酸化ケイ素ガラスまたは窒化ケイ素ガラスを主成分としたケイ酸塩材料からなる膜を内装誘電体層として用いた場合について説明したが、ケイ酸塩材料以外に、シリコーン樹脂、シリコーンゴムといった有機シロキサン材料を用いることもできる。シロキサン材料の場合も使用する材料の特性に応じて、図2(b)の電気炉9の設定温度を適当に変えれば同様に製作が可能である。シロキサン材料としては、例えば有機ポリシロキサンのポリジメチルシロキサンを用いることができ、その前駆体溶液(一例としてOhio Valley Special Chemical Inc. 製OV-1)はトルエン、アセトン、n-ヘキサン、クロロフォルムなどの溶媒によって希釈され樹脂分含有量、粘度を調節したものを用いれば良い。

【0040】次に、本発明の実施の形態の作用について説明する。図3に、本発明によるケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体内装銀中空導波路における内装誘電体薄膜の膜厚と伝送損失との関係(実線)を示す。横軸は内装誘電体の膜厚、縦軸は基本伝搬モードであるHE11モードの伝送損失を表している。比較のため従来のゲルマニウム内装銀中空導波路の場合(波線)も合わせて示してある。但し、ここで伝送する光はCO<sub>2</sub>レーザーとし波長は10.6μmの場合を示した。また導波路径は800μmとした。

【0041】ゲルマニウムの屈折率は4であるのに対し、ケイ酸塩またはシロキサン材料の屈折率は1.45～1.7程度と低い。このため図3に示すように、ケイ酸塩またはシロキサン材料を用いた誘電体内装銀中空導波路の場合は、従来のゲルマニウム内装銀中空導波路と比較して、内装する薄膜の膜厚に対する最低損失が約1/3に低減される。さらに伝送損失は、内装する薄膜の膜厚に対して周期的に変化するが、ケイ酸塩またはシロキサン材料を内装した場合には伝送損失の変化が緩やか

となり、製作上の薄膜の膜厚許容範囲を広くとることができる。同図よりCO<sub>2</sub>レーザ光を伝送させる場合には、ケイ酸塩またはシロキサン材料の膜厚が1～1.5 μmのとき伝送損失が最小値をとることがわかる。この最適膜厚は、伝送するレーザ光の波長によってそれぞれ異なるが、図3に示したCO<sub>2</sub>レーザ光の伝送に限らず、ケイ酸塩またはシロキサン材料の吸収波長帯を除く任意の波長に対しても同様に、伝送するレーザ光の波長に応じて最適な膜厚に設定すれば、低損失な導波路が実現可能である。

【0042】一般に本発明で使用するケイ酸塩またはシロキサン材料は、赤外領域において材料固有の吸収損失が存在する。一例としてCharles J. Pouchert, "The Aldrich Library of FI-IR Spectra", Edition 1, volume 1, p. 1210, 1985. (Aldrich chemical company出版) に掲載されているポリジメチルシロキサンの吸収特性曲線を図4に示す。この図からわかるように吸収特性曲線は、波長3.3 μm、8 μm、9～10 μm、12.5 μm付近に大きな吸収ピークが存在する。このような吸収損失が大きな波長帯では、誘電体薄膜を内装させても導波路の低損失化には効果がない。

【0043】しかしながら赤外領域において実用上重要な光源とされるEr-YAGレーザ、CO<sub>2</sub>レーザ、CO<sub>2</sub>レーザの発振波長帯である2.94 μm、5 μm、10.6 μmには大きな吸収ピークは見られない。したがってこれらのレーザ光は低損失で伝送することができる。

【0044】このように内装するケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体層の膜厚を波長に対して適宜設定することにより、材料特有の吸収ピークの波長を除けば、紫外から赤外の広範囲な波長領域にわたり低損失導波路の実現が可能である。

【0045】以上述べたように、本発明の中空導波路によれば、導波路内に伝送される光のほとんどが中空領域を伝搬し、光が導波路内を伝搬する際にケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体層で吸収される光の量はわずかであるため、低損失で光伝送を行うことができる。しかも、細径導波路に適用できるため可撓性に優れている。

【0046】また、本発明の中空導波路を用いた光伝送方法によれば、紫外から赤外の広範囲な波長領域の光を伝送できるため、紫外光または赤外光と可視光とを重疊あるいは切り替えて伝送することができる。

【0047】さらに、本発明の中空導波路の製造方法によれば、中空の金属導波路の中に溶媒で溶解したケイ酸

塩またはシロキサン材料の前駆体溶液を充填し、これを排出した後乾燥、固化させることで金属中空導波路の内壁にケイ酸塩またはシロキサン材料の誘電体層が容易に形成され、この誘電体層の厚さは、充填、排出および乾燥の工程の回数、溶液の粘度、固体分含有量、塗布速度などの製造条件によって任意にしかも精度よく制御することができる。さらにこの製造方法は、可撓性の優れた細径な導波路の製造にも適用でき、しかも形成される導波路の長さは製造装置に依存せず長尺化も容易となる。

## 10 【0048】

【発明の効果】以上要するに、本発明によれば次のような優れた効果を発揮する。

【0049】(1) 可視光ばかりでなく、石英系光ファイバが使用できない広い波長帯において、低損失にレーザ光を伝送できる。

【0050】(2) 耐熱性、耐久性に優れており、高いエネルギーをもつレーザ光伝送用導波路に適している。

【0051】(3) 導波路の細径化や長尺化が容易であり、量産性に優れている。

## 20 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の中空導波路の一実施形態を示す断面図である。

【図2】本発明の中空導波路の製造方法を示す説明図であり、(a)は金属導波路内壁にケイ酸塩材料の前駆体溶液の塗膜を形成する工程を示す説明図、(b)は前駆体溶液の塗膜を乾燥・固化する工程を示す説明図である。

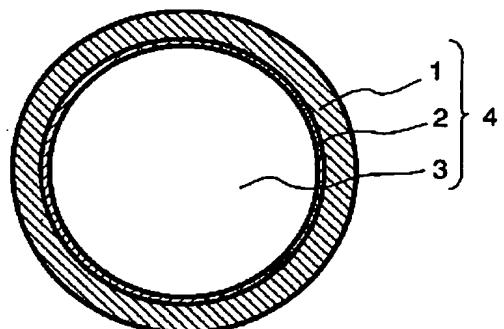
【図3】本発明の中空導波路における内装誘電体層の膜厚とレーザ光の伝送損失との関係を示す説明図である。

30 【図4】本発明の中空導波路に誘電体層として使用されるシロキサン材料の吸収特性の一例を示す説明図である。

## 【符号の説明】

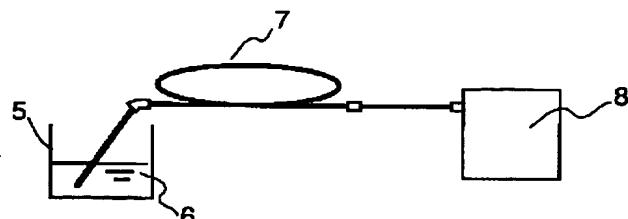
- 1 金属パイプ
- 2 ケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体層
- 3 中空領域
- 4 誘電体内装金属中空導波路
- 5 容器
- 6 前駆体溶液
- 7 パイプ
- 8 送液ポンプ
- 9 電気炉
- 10 真空ポンプ
- 11 流量計

【図 1】

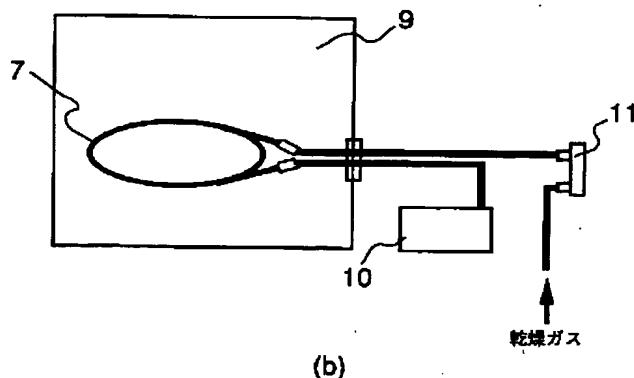


- 1 金属パイプ
- 2 ケイ酸塩またはシロキサン材料からなる誘電体層
- 3 中空領域

【図 2】

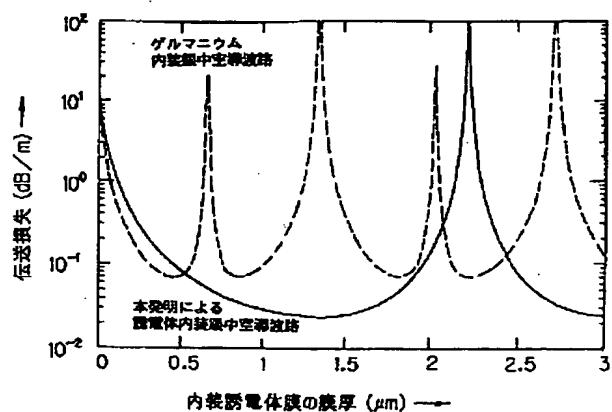


(a)



(b)

【図 3】



【図4】

